タイ国チャオプラヤー川流域内の大規模ダム 貯水池の新しい簡便な運用方法の提案と検証

PROPOSAL AND VERIFICATION OF A NEW SIMPLE RESERVOIR OPERATION
FOR LARGE SCALE RESERVOIRS IN THE CHAO PHRAYA BASIN, THAILAND

道谷健太郎¹・手計太一²・呉修一³・スヴァンピモル ポンサコーン⁴
Kentaro DOUTANI, Taichi TEBAKARI, Shuichi KURE and Pongthakorn SUVANPIMOL

¹学生会員 富山県立大学 工学部環境工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

²正会員 工(博) 富山県立大学大学院准教授 工学研究科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

³正会員 東北大学助教 災害科学国際研究所 (〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1)

⁴Royal Irrigation Department (811 Samsen Nakornchaisri, Dusit Bangkok 10300, Thailand)

The Chao Phraya River basin (CPRB) in Thailand had a massive flooding in 2011, which affected on not only Thai socio-economics but also global supply-chain of industrial production. The Thai government is planning watershed management for the CPRB. In order to propose a new reservoir operation system on science-based which can be easily put into practice, we studied a reservoir optimum operation for Bhumibol and Sirikit reservoirs in the CPRB. This paper proposed the new reservoir operation method that daily release discharge were decided by using the day before storage volume data. A usefulness of the reservoir operation method was verified using historical hydrological data. As a result, the proposed reservoir operation method could contribute stabilization of storage volume.

Key Words : 2011 flood, reservoir operation, watershed management, Chao Phraya River

1. はじめに

タイ国北部から中部を流れるチャオプラヤー川流域において、2011年に発生した大洪水は同国のみならず世界中の経済に大きな影響を与えた¹⁾。同国における観測史上最大の洪水であり、死者813名、被災者は900万人を超えた。被害額は約3.5兆円と推計され、世界でも5番目の経済被害額である²⁾。日系企業451社も被災し、サプライチェーン全体に極めて大きな影響を与えた。

その後、国際協力機構(JICA)や東京大学などが中心となって、チャオプラヤー川流域の統合水資源管理に向けた支援が実施された。現象理解という面からは、佐山ら^{3),4),5)}は2011年洪水氾濫のメカニズム解明のために降雨流出モデルと氾濫モデルを融合させて数値実験を利用して、Mateo et al.⁶⁾は、水資源モデルであるH08⁷⁾と広域氾濫モデルであるCaMa-Flood⁸⁾をカップリングさせ、チャオプラヤー川流域に適用し、洪水緩和対策への利用可能性を示している。一方で、上述した統合水資源管理を運用するにはハード・ソフトともに整備が整うまでに時間がかかる。そのために、既存の土工施設を効率的、

最適に運用する方法を検討する必要がある。

小森ら⁹⁾はチャオプラヤー川流域上流に位置するプミポンダム貯水池とシリキットダム貯水池の操作方法について検討している。この中で、貯水池への流入量の確率評価を利用して、利水容量を維持しながら治水操作することは、上記2つのダム貯水池だけでは困難であることを示している。しかしながら、抜本的な最適運用を提案するまでに至っていないのが実情である。

ダム貯水池操作の最適運用方法として、線形計画法や非線形計画法を利用したものが多数研究されてきた¹⁰⁾。さらにそれらを応用した、ファジィ理論¹¹⁾、AI¹²⁾やニューラルネットワークなど数学を駆使した最適操作方法も提案されてきた。最近では、気象モデルによる降雨予測をダム操作に利用する研究も行われている¹³⁾。また、長期的な貯水池運用を目的にグローバルな気象情報を利用する方法も検討されている¹⁴⁾。日本国内では、先駆的に事前放流方式の提案も行われている¹⁵⁾。

これらの貯水池操作方法は、情報や技術、人材教育などが整った国や地域のみで使うことができ、発展途上の国々での利用は未だ困難である。著者らのグループでは、下坂ら¹⁵⁾の事前放流ルールを参考に、基礎的な検討を実

図-1 チャオプラヤー川流域。

施している^{16), 17)}。

そこで本研究では、タイ国チャオプラヤー川流域を対象として、ダム貯水池運用を開始してから2012年までの貯水池データだけを利用して、利水と治水の両方に効果が得られ、かつ現場での運用が簡便である方法を提案する。

2. チャオプラヤー川流域と大規模ダム貯水池

本研究で対象とするチャオプラヤー川流域はタイ北部から中央部にまたがり、同国最大の流域面積(157,925 km²)を持つ(図-1)¹⁸⁾。北部の山岳域からPing川、Wang川、Yom川、Nan川の4支川が合流しChao Phraya川本川が始まる。そして西部からSakae Krang川、下流では東側からPasak川が流れ込み、一部はTha Chin川に分流し、最後にタイ湾へと流れる。中流域は氾濫原、下流域はデルタという構造をしている。また、タイ北部はほぼ頁岩、れき岩、砂岩等を基岩とした地質、バンコクを中心とするタイ中央平原は粘土で被われ、その他の平野、丘陵地は概ねローム質の土で被われている。対象流域の気候はアジアモンスーンの影響を受け、雨期(5月から10月)と乾期(11月から4月)の明瞭な区別がある。乾期のうちで特に3月から4月は一年の中でも一番暑気が厳しい時期である。また乾期には60日から70日間の無降雨日が続くことがある。一方、雨期には激しいスコールに見舞われ、各地で洪水が発生している。

チャオプラヤー川流域内には、2014年現在、中・大規模のダム貯水池が合わせて9つあり、その総貯水容量は

表-1 プミポンダムとシリキットダムの諸元。¹⁹⁾

名称	プミポンダム	シリキットダム
用途	発電 灌漑 洪水調節	発電 灌漑 洪水調節
管理	タイ電力公社	タイ電力公社
河川	ピン川	ナン川
集水面積 (km ²)	26,386	13,130
年間流入量 (×10 ⁶ m ³)	5,814 (1965-2012年,平均)	5,772 (1974-2012年,平均)
年間流入量 (mm)	199.2	427.5
最大貯水容量 (×10 ⁶ m ³)	13,462	10,508
湛水面積 (km ²)	316.0	260.0
ダム型式	重力アーチ式	アースフィル式

254億 m³である¹⁾。その中で、プミポンダム貯水池は、1957年に世界銀行の援助によってPing川上流に国王の名を取り建設された、タイ国初の大規模かつ多目的ダムである。そして、次に、1961年、Nan川に同様規模の多目的ダムを建設することが政府によって承認され、1977年、Nan川上流に女王の名を取ったSirikitダムが完成した。両ダムの主な特徴を表-1に示す¹⁹⁾。両ダムはEGAT (Electricity Generating Authority of Thailand: タイ電力公社) が管理・運営するものであり、その主目的は発電であるが、王立灌漑局との協議により灌漑用にも運用している。運用目的は、発電、灌漑、治水であり、その目的全てを達成しなければタイ国の経済発展に大きな支障をきたすこととなる。

3. ダム貯水池の現業の運用方法

プミポンダム貯水池とシリキットダム貯水池は、1996年より月ごとに遵守すべき貯水量の上限値と下限値が定められ、その時系列曲線がルールカーブと呼ばれる。放流操作は、貯水量がその範囲内に保たれるように行われる。

2011年の大洪水の後、両ダム貯水池ともにルールカーブが変更された²⁰⁾。本稿では、2011年以前のルールカーブを旧ルールカーブ、2011年以降のルールカーブを新ルールカーブとする。また、上限値を示すルールカーブをURC、下限値を示すルールカーブをLRCとする。

図-2はプミポンダム貯水池における新旧の貯水池操作ルールカーブである。新URC、新LRCともに全体的に大きく下げられた。旧URCの最低値は7月の10655×10⁶ m³であったが、新LRCの最低値は8月の8917×10⁶ m³(下げ幅1738×10⁶ m³, 16 %減)へ下げられた。旧LRCの最低値は7月の6791×10⁶ m³であったが、新LRCの最低値は6月の5765×10⁶ m³(下げ幅1026×10⁶ m³, 15 %減)へ下げられた。

図-3はシリキットダム貯水池における新旧の貯水池操作ルールカーブである。シリキットダム貯水池においてもLRC、URCともに全体的に大きく下げられたことがわかる。旧LRCの最低値は7月の5718×10⁶ m³であったが、新LRCの最低値は6月の4041×10⁶ m³(下げ幅1677×10⁶ m³,

図-2 プミポンダム貯水池における新旧ダム貯水池操作ルールカーブ。

図-3 シリキットダム貯水池における新旧ダム貯水池操作ルールカーブ。

図-4 プミポンダム貯水池における1964年～2012年までの月平均貯水量の時系列。

図-5 シリキットダム貯水池における1964年～2012年までの月平均貯水量の時系列。

29 %減)へ下げられた。LRCの最低値は新旧ともに7月であるが旧LRCの $7208 \times 10^6 \text{ m}^3$ から、新LRCの $6155 \times 10^6 \text{ m}^3$ (下げ幅 $1093 \times 10^6 \text{ m}^3$, 15 %減)へ下げられた。LRCが最高値となる11月では旧LRCが $7125 \times 10^6 \text{ m}^3$ であったのに対し、新LRCは $6558 \times 10^6 \text{ m}^3$ まで下げられた。

このように、全体的にルールカーブを引き下げ、雨期終盤前に上下限幅を絞ることによって、洪水に対して安全側に操作するような運用方法になったと解釈できる。

図-4はプミポンダム貯水池における1964年～2012年までの月平均貯水量の時系列である。図中の緑色と水色の実線は、旧URC、旧LRCをそれぞれ示している。ルールカーブを用いた運用を開始した1996年から2011年の16年間(192ヶ月)のうち、月平均貯水量が旧LRCを下回った月は68回(35.4 %)であった。1964年～1995年の間(379ヶ月)にも旧LRCを適用したと仮定すると、月平均貯水量が旧LRCを下回った月は191回(50.4 %)であった。また、1989～95年、1998～2000年においては長期に渡り貯水量が旧LRCを下回っている。一方で1975、2002、2006、2011年には雨期の終盤に貯水量が最大貯水量の98 %を上回っている。

図-5はシリキットダム貯水池における1974年～2012年までの月平均貯水量の時系列である。ルールカーブを用いた運用を開始した1996年から2011年の16年間のうち、月平均貯水量が旧LRCを下回った月は95回(49.5 %)で

あった。1974年～1995年の間(264ヶ月)にも旧LRCを適用したと仮定すると、月平均貯水量が旧LRCを下回った月は166回(62.9 %)であった。全体の50～60 %は、貯水量が非常に少ない状態であったことがうかがえる。また、シリキットダム貯水池においても1987～95年、1998～2000年の間、長期に渡り連続的に貯水量が旧LRCを下回っている。なお、1975年9月末から10月のはじめに記録した $9642.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ (最大貯水量の91.0 %)が貯水量の過去最高値である。

4. 新しい簡便な運用方法の提案とその検証

(1) 新しい運用方法

前述したように、現業の貯水池操作規程は、貯水量をULCとLRCの間に保つように貯水操作するものである。発電のための最低放流量や灌漑用の放流量が規定され、さらに乾期を迎える12月31日時点で満水に近い貯水量が望まれているため、非常に難しい運用を強いられているのが実情である。

そこで、本研究では既存のルールカーブを利用して、前日貯水量に応じて日放流量を決定する極めてシンプルな運用方法を提案する。その方法を以下に示す。

まず、一日ごとの日放流量を前日の貯水量から決定す

図-6 プミポンダム貯水池における貯水量と各閾値の時系列.

表-2 ケースごとの放流量 (単位: m^3/s).

	R_a	R_b	R_c	R_d	R_e	R_f
Case. 1	0	160	160	300	450	600
Case. 2	0	80	160	300	450	600
Case. 3	0	80	80	300	450	600

る. 日貯水量は以下のように定義する.

$$S_i = S_{i-1} + Q_i - R_i - E_i \quad (1)$$

ここで, S_i : i 日目の貯水量, S_{i-1} : $i-1$ 日目の貯水量, Q_i : i 日目の日流入量, R_i : i 日目の日放流量, E_i : i 日目の日蒸発量である. なお, S_0 はプミポンダム貯水池においては1964年6月1日, シリキットダム貯水池においては1974年1月1日の貯水量とした. 次に, 日放流量 R_i を決定するため, 新ルールカーブを基に以下に示す5つの閾値を設定した. ここで, $Min.S$: 最低貯水量, $NLRC$: 新LRC, $NMRC$: 新LRC, URCの中間値, $NURC$: 新URC, $Max.S$: 最大貯水量である. これらの閾値は操作の簡便性のために, 日ごとに設定するのではなく月一定に設定した値を用いる. 最後に, 日放流量 R_i を決定するために新ルールカーブをもとに以下の様に $R_a \sim R_f$ の6段階に決定する. 以上を図-6, 図-7に図示する.

- i) $S_i < Min.S$ のとき $R_{i+1} = R_a$
- ii) $Min.S \leq S_i < NLRC$ のとき $R_{i+1} = R_b$
- iii) $NLRC \leq S_i < NMRC$ のとき $R_{i+1} = R_c$
- iv) $NMRC \leq S_i < NURC$ のとき $R_{i+1} = R_d$
- v) $NURC \leq S_i < Max.S$ のとき $R_{i+1} = R_e$
- vi) $Max.S \leq S_i$ のとき $R_{i+1} = R_f$

(2) 新しい運用方法の検証方法

本項では, 本稿で提案した放流操作を過去の貯水池データに適用してその妥当性を検証した. 解析期間は, プミポンダム貯水池では1964年6月1日～2012年12月31日, シリキットダム貯水池では1974年1月1日～2012年12月31日である.

図-7 シリキットダム貯水池における貯水量と各閾値の時系列.

本稿では規定する放流量の妥当性を評価するために, いくつかの放流量パターンを検証した. 各ケースにおける放流量 $R_a \sim R_f$ を表-2に示す.

R_a は貯水量が最低貯水量を下回っている場合の放流量であるから全てのケースにおいて $0 \text{ m}^3/\text{s}$ とした.

プミポンダム貯水池では, 乾期の操作規定の中で, 放流量が $160 \text{ m}^3/\text{s}$ を下回ってはならないと定められている¹⁹⁾. よって, Case. 1においては, R_b , R_c の値を $160 \text{ m}^3/\text{s}$ とした. 下限の許容量を検証するため, Case. 2では R_b を, Case. 3では R_b と R_c を $80 \text{ m}^3/\text{s}$ とした. プミポンダム貯水池では放流量が $750 \text{ m}^3/\text{s}$ (日放流量 6500 万 m^3) を超過すると下流で洪水氾濫のリスクが高まるため, 通常は日放流量が 4000 万 m^3 (約 $463 \text{ m}^3/\text{s}$) を超える放流は行わないことになっている²²⁾. またプミポンダム貯水池の発電最大放流量は日量 6000 万 m^3 (約 $694 \text{ m}^3/\text{s}$) である²²⁾. これら基に, 全てのケースにおいて R_d , R_e , R_f をそれぞれ $300 \text{ m}^3/\text{s}$, $450 \text{ m}^3/\text{s}$, $600 \text{ m}^3/\text{s}$ と設定した. これらの条件で操作した場合の日貯水量, 日放流量を計算した.

シリキットダム貯水池においても, 表-2と同様の値を用いた. シリキットダム貯水池については, 詳細な放流ルールが公表されていないため, 便宜上, プミポンダム貯水池と同様の値とした.

(3) 新しい運用方法の検証結果

a) プミポンダム貯水池における検証結果

図-8は表-2のCase. 1～3を適用した場合のプミポンダム貯水池の貯水量の計算結果を表している. 図中の灰色の実線は, 実際のプミポンダム貯水池の貯水量を示している. 前述したような, 貯水量が長期に渡って旧LRCを下回るような期間(1989～95年, 1998～2000年)において, Case. 1は実際の貯水量よりも貯水量が小さく, Case. 2, Case. 3では貯水量が大きく算出された. Case. 1とCase. 2の違いは, 貯水量が $Min.S \leq S_i < NLRC$ となる時の放流量 R_b の値である. したがって, 貯水量が $NLRC$ を下回る期間に $160 \text{ m}^3/\text{s}$ の放流をしなければならないことが, 連続した渇水の要因の一つであると考えられる. また同期間

図-8 プミポンダム貯水池における各ケースの検証結果
(各ケースの貯水量と実際の貯水量)。

図-9 プミポンダム貯水池における各ケースの検証結果
(各年12月31日時点での貯水量)。

図-10 シリキットダム貯水池における各ケースの検証結果
(各ケースの貯水量と実際の貯水量)。

図-11 プミポンダム貯水池における各ケースの検証結果
(各年12月31日時点での貯水量)。

の放流量を $80 \text{ m}^3/\text{s}$ まで絞れば長期に亘る貯水量の低下を抑制できる可能性がある。しかし、発電や灌漑のために、最低放流量を小さくすることは容易でない。

一方、実際の貯水量は1975、2002、2006、2011年に最大貯水量やその付近にまで到達している。しかし本提案手法では、全てのケースにおいて、2011年の貯水量のみが最大貯水量を超過するものの、それ以外の年では貯水量が最大貯水量の90%を超過することはなかった。

図-9は図-8における12月31日時点の貯水量を示したものである。灰色の点は各年12月31日における実際の貯水量を表している。また、赤、青の破線はそれぞれ12月の新URC・LRCを示し、オレンジの実線は最大貯水量の80%($10770 \times 10^6 \text{ m}^3$)を示している。Case. 1では新LRCを下回った年が26年(53.1%)あった。さらに、14年(28.6%)は貯水量が新URCの80%に満たなかった。Case. 2でも新LRCを下回る年が18年(36.7%)であったが、新URCの80%に満たなかった年は2年(4.1%)にすぎない。Case. 3においては、新LRCを下回った年が6年(12.2%)あったが、新URCの80%以上であった年はなかった。プミポンダム貯水池は、平均約1.6年分の流入量を貯水する必要がある、渇水が2年以上継続すると貯水量の回復には極めて長い時間がかかる。

ここで、翌年の乾期に安心して灌漑農業が実施できる重要な指標である最大貯水量の80%という基準を用いて貯水量を検討する。各ケースの結果を最大貯水量の80%

と比較すると、Case. 1、Case. 2では2011年以外の全ての年で最大貯水量の80%に達しておらず、Case. 3においては49年中6年(12.2%)のみである。以上から、本提案手法では、洪水の抑制に大きな効果が認められる一方、12月31日時点の貯水量を最大貯水量の80%まで貯水することは難しい。

b) シリキットダム貯水池における検証結果

図-10は表-2のCase. 1~3を適用した場合のシリキットダム貯水池の貯水量の計算結果を表している。図中の灰色の実線は、実際のシリキットダム貯水池の貯水量を示している。前述した貯水量が長期に渡って旧LRCを下回るような期間(1987~95年、1998~2000年)において、Case. 1は貯水量が小さく、Case. 2とCase. 3では実際の貯水量よりも貯水量が大きくなる。したがって、シリキットダム貯水池においてもプミポンダム同様に貯水量がNLRCを下回る期間の放流量を $80 \text{ m}^3/\text{s}$ まで絞れば長期に亘る貯水量の低下を抑制できる可能性がある。

図-11は図-10における12月31日時点の貯水量を示したものである。灰色の点は各年12月31日における実際の貯水量を表している。また、赤、青の破線はそれぞれ12月の新URC・LRCを示し、オレンジの実線は最大貯水量の80%($10770 \times 10^6 \text{ m}^3$)を示している。Case. 1では新LRCを下回った年が25年(64.1%)あった。さらに、10年(25.6%)は新URCの80%に満たなかった。またCase. 2では、新

LRCを下回る年が20年(51.2 %), 新URCの80 %に満たなかった年は2年(5.1 %)であり, Case. 1に比べ少ない. Case. 3においては, 新LRCを下回った年が13年(33.3 %)あったが, 新URCの80 %に満たなかった年はなかった. 各ケースの結果を最大貯水量の80 %と比較すると, 全てのケースにおいて2011年以外の全ての年で最大貯水量の80 %に達していない. 一方, 実際の貯水量は, 39年中9年(23.1 %)で最大貯水量の80 %に達している. シリキットダム貯水池においても, 本提案の手法では, 洪水の抑制には大きな効果が認められる一方, 12月31日時点の貯水量を最大貯水量の80 %まで貯水することは難しい.

5. 結論

本研究では, タイ国チャオプラヤー川流域を対象として, 利水と治水の両方に効果が得られ, かつ現場での運用が簡便である貯水池操作方法を提案することを目的とした. 本研究で提案した操作手法は, 前日貯水量に応じて日放流量を決定する極めてシンプルな運用方法である. また, 本研究のもう一つの特徴は, 提案した放流操作を過去に貯水池運用された全期間を通して適用することで, 長期間の貯水池運用の妥当性を検証したことである.

本研究の結果, 本提案手法は2つの大規模ダム貯水池において, 貯水量を安定してルールカーブ内に保つ事ができた. 貯水量が安定することは長期的な渇水や頻度の高い洪水の抑制に繋がる. しかし, 2011年のような50~100年規模の大洪水に対応できていない. また, 本稿では貯水量によって運用法を評価したが, 下流域への影響は十分に評価できてはいない. 今後は著者らのグループが既にチャオプラヤー川に実装している降雨流出モデルを用いるとともに, 下流域の渇水時の水需要量を算定することで, 本研究で提案する放流を行った場合の, 下流域での洪水・渇水状況等を詳細に評価していきたい.

本稿で提案した運用法では貯水量のみから放流量を決定したが, 今後はより現実性に則した提案にするために, 貯水量の上限の設定や雨期・乾期別の操作方法の導入を行う必要がある.

参考文献

- 1) 手計太一: 2011年チャオプラヤー川大洪水—被害拡大の要因と今後の課題—, 河川災害に関するシンポジウム, 2012.
- 2) Komori, D., et al.: Characteristics of the 2011 Chao Phraya River flood in Central Thailand, *Hydrological Research Letters*, Vol. 6, pp.41-46, 2012.
- 3) 佐山敬洋, 建部祐哉, 藤岡奨, 牛山朋来, 萬矢敦啓, 田中茂信: 2011年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol. 69, No. 1, p. 14-29, 2013.
- 4) 佐山敬洋, 建部祐哉, 藤岡奨, 牛山朋来, 田中茂信: 大規模洪水氾濫の時空間起源分析に関する研究, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol. 69, No. 4, I_463-I_481, 2013.
- 5) 建部祐哉, 佐山敬洋, 牛山朋来, 藤岡奨, 田中茂信: チャオプラヤー川流域における長期降雨流出氾濫解析, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol. 69, No. 4, I_457-I_462, 2013.
- 6) Mateo, C. M. R., et al.: A simulation study on modifying reservoir operation rules: tradeoffs between flood mitigation and water supply, *Proceedings of H09, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly*, IAHS Publ. 362, 2013.
- 7) Hanasaki, N., et al.: An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing, *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 1007-1025, 2008.
- 8) Yamazaki, D., Kanae, S., Kim, H. and Oki, T.: A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model, *Water Resources Research*, 47, W04501, 10.1029/2010WR009726, 2011.
- 9) 小森大輔ら: 確率評価を用いた洪水緩和と水資源確保を考慮した季節スケールでの大ダム貯水池操作の検討, 第21回地球環境シンポジウム講演集, pp.115-125, 2013.
- 10) 竹内邦良: 貯水量の累加損失係数を用いた貯水池群の最適操作手法, *土木学会論文報告集*, No.222, pp.93-103, 1974.
- 11) 小尻利治, 池淵周一, 十合貴弘: ファジィ制御によるダム貯水池の実時間操作に関する研究, *京都大学防災研究所年報*, 第30号, B-2, pp.323-339, 1987.
- 12) 池淵周一: 水資源システムにおけるAI利用, *水文・水資源のためのAI技術の利用に関する講座*, pp.1-15, 1991.
- 13) 三石真也, 角哲也, 尾関敏久: WRFによる降雨予測を活用したダム操作に関する検討, *ダム工学*, 20(2), pp.94-104, 2010.
- 14) 野原大督, 三木博子, 堀智晴: 長期貯水池操作のための多様な全球気象情報の利用可能性, *京都大学防災研究所年報*, 第54号, B, pp.699-709, 2011.
- 15) 下坂将史, 呉修一, 戸谷英雄, 山田正, 吉川秀夫: 既存ダム群の洪水調節機能向上のための新しい放流方法の提案, *水工学論文集*, 第52巻, pp.511-516, 2008.
- 16) 小川厚次, 手計太一, 呉修一: タイ国における大規模ダム貯水池の最適運用法に関する基礎的検討, *水文・水資源学会2013年研究発表会要旨集*, pp.78-79, 2013.
- 17) 道谷健太郎ら: タイ国チャオプラヤー川流域内における大規模ダム貯水池操作に関する基礎的検討, 第22回地球環境シンポジウム講演集, pp.181-184, 2014.
- 18) 手計太一, 吉谷純一: 大ダム建設が流況に与えた影響—タイ王国・Chao Phraya川流域を対象として—, *水文・水資源学会誌*, 第18巻3号, pp.281-292, 2005.
- 19) 手計太一: タイ王国の水資源開発—歴代為政者たちの水資源政策, 現代図書, 224p, 2008.
- 20) 玉田芳史, 星川圭介, 船津鶴代: タイ2011年大洪水—その記録と教訓—, *アジア経済研究所*, 206p, 2013.

(2014. 9. 30受付)